Wie können Schubmassen in der Erdtiefe verankert sein?

Von

Otto Ampferer

ordentl. Mitglied d. Akad. d. Wiss.

(Mit 12 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 23. Jänner 1941)

In der tektonischen Geologie spielen Überschiebungen und Schubmassen in immer steigendem Umfang ein Haupterklärungsmittel vieler sonst unverständlicher Lagerungsformen. Dabei sind die sichtbaren Teile der Schubmassen und ihrer Unterlage mit großer Aufmerksamkeit von vielen Forschern untersucht worden, wogegen das Einwurzeln der Schubkörper zwar angenommen, aber nicht auf seine Möglichkeiten hin genauer geprüft wurde.

Ein Versuch zur Aufklärung dieser Verhältnisse soll nun im folgenden vorgelegt werden.

Es ist dabei vorauszuschicken, daß der einzige in allen seinen Teilen klare mechanische Vorgang, welcher ältere Schichten auch in großem Umfang auf jüngere aufzuladen vermag, jener einer Gleitung im Schweregefälle der Erde ist. Dieser Fall tritt auch von den kleinsten bis zu den größten Ausmaßen ständig vor unseren Augen in Erscheinung. Ich brauche hier nur an die kleinen Gleitungen zu erinnern, die fast keinem Lehmlager fehlen, oder an die machtvollen Gleitbewegungen der Gletscher und der großen Massen des Inlandeises.

Bei den Gleitungen läßt sich die von ihnen herbeigeführte neue Raumordnung auf eine ganz einfache Formel bringen, welche in Fig. 1 abgebildet erscheint. Am oberen Ende der Gefällsstrecke entsteht ein Abriß, der sich zu einer Lücke erweitert. Am unteren Ende bildet sich dagegen eine Überschiebung heraus. Tritt bei der Gleitung keine innere Verfaltung oder Verschuppung oder Zerrung ein, so entspricht die Raumgröße der oberen Lücke jener der unteren Überschiebung.

Was oben entfernt wurde, kommt unten wieder zur Aufladung. Freilich sind hier auch verschiedene Lösungen möglich, wenn z. B., wie Fig. 2 darlegt, die Gleitmasse sich unten nur

anstaut und keine Abreißung stattfindet. In Wirklichkeit dürfte diese Form von unten angebundenen Gleitmassen wohl nur selten zur Ausbildung gelangen.

Der in Fig. 1 abgebildete Vorgang ist aber dadurch vereinfacht, daß die Gleitmasse gleich außerhalb der Gleitnische liegt. Dies ist jedoch keineswegs nötig, weil der Schwung der Gleitung auch so groß sein kann, um die davon ergriffene Masse weiter aufs Vorland hinauszutreiben.

Beim gegenteiligen Falle kann der Gleitschwung nicht einmal ausreichen, um die Gleitmasse ganz aus ihrer Nische hinauszuwerfen.

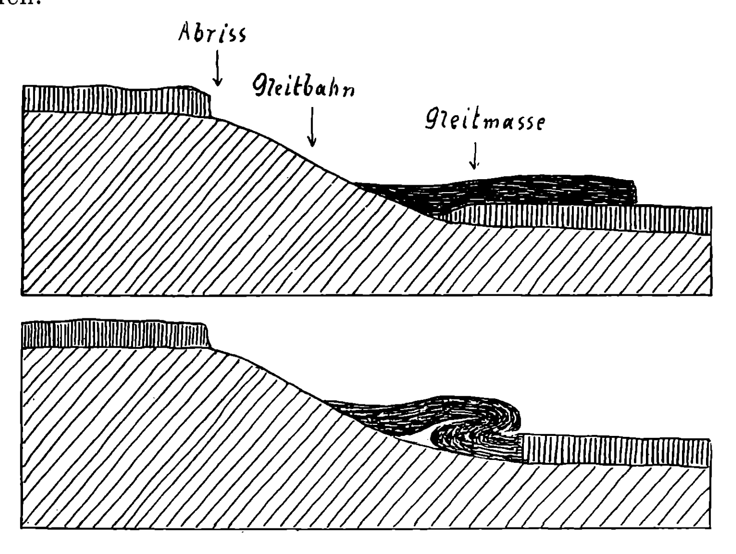


Fig. 1. Einfache, unten freie Gleitung.

Fig. 2. Einfache, unten gebundene Gleitung.

Wir erkennen aus diesen Überlegungen, daß das Verhältnis von Abrißlücke zu Gesamtverschiebung und Förderweite der Gleitmasse manche Abwandlungen durchlaufen kann. Wesentlich andere Verbandsverhältnisse zeigen Schubmassen, die aus dem Innern der Erde herausgeschoben wurden. Sie nehmen ihren Weg entgegen dem Schweregefälle, falls sie sich nicht gerade entlang einer Kugelschale bewegen.

Dieser Fall ist bestimmt sehr selten und wohl nur verwirklicht, wenn wie in dem Verbande von Alpen und Jura der letztere als eine Abscherungsdecke vor dem Alpenbau her getrieben wird.

Im allgemeinen wird es sich vielmehr um mehr oder weniger schräge Herausschiebungen handeln, welche an der Erdoberfläche ihren Überschuß an bewegter Masse zur Ablagerung bringen. Eine konzentrische Ablösung der äußersten Kugelschale könnte auch schon zur Überschiebung führen, falls sich z. B. die nächst tieferen Erdschalen stärker zusammenziehen würden. Ein solcher Vorgang hat aber wenig Wahrscheinlichkeit für sich. Da der Kontraktionsunterschied einer obersten Erdschale gegen ihre Unterlage nur sehr gering sein kann, würde man zur Konstruktion einer größeren Schubmasse bereits weithin ausgedehnte Ablösungen heranziehen müssen. Diese Möglichkeit einer Summierung von ganz kleinen Beträgen unter großen Landflächen hindurch kann im Gebirge schon wegen der starken Faltung der Schichten nicht bestehen.

Sie würde also nicht nur große Ausdehnungen, sondern auch ganz flache Ablagerungen zu ihrer Wirksamkeit erfordern. Es ist daher nicht wahrscheinlich, daß die Bahnflächen unter den Schubmassen selbst bei scheinbar flachem Ausstrich auch eine flache Fortsetzung ins Erdinnere besitzen können. Wenn aber die flachen Fortsetzungen der Schubbahnen erdeinwärts keine brauchbaren Lösungen ergeben, so erhebt sich die Frage, ob dies mit gekrümmten absteigenden Bahnen besser gelingt.

Hier ist es nützlich, einige Unterscheidungen aufzustellen. Wichtig erscheint zunächst, zwischen stetig gekrümmten und eckig gebrochenen Bahnen zu trennen. Nur an stetig gekrümmten oder geraden Bahnen können Massenverschiebungen vor sich gehen, ohne daß dabei Hohlräume entstehen.

Am leichtesten lassen sich Massenverschiebungen entlang von Ebenen vollziehen. Es gelingt auch noch, wenn sogar die trennenden Scheideflächen im Großen zwar eben, im Feinen jedoch mit Rauhigkeiten versehen sind, sofern sich dieselben gegenseitig abschleifen lassen. Dieser Vorgang wird ja auch im Kleinen unzählige Male zum Glätten und Schärfen unserer Werkzeuge verwendet.

Dabei fällt ein Schleifpulver oder bei Wasserzutritt ein Schleifschlamm ab, welche geeignet sind, die zwischen den Nachbarmassen vorhandene Reibung zu vermindern. Sieht man genauer zu, so erkennt man das Zusammenspiel einer planmäßigen Erniederung und Glättung der Vorsprünge, ein Ausfüllen der Furchen sowie die Herstellung eines immer feinkörnigeren Schleifpulvers.

Dieses Schleifpulver ist in der besten Ausbildung ein Gemisch von feingeschliffenen Gesteinskügelchen von verschieden-

artigen Durchmessern. Ein derartiges Kugellager ist imstande, einen großen Betrag der Reibung zu übernehmen, wobei allerdings eine starke Erwärmung unvermeidlich ist.

Wie wir wissen, kann die Reibung so hoch ansteigen, daß die Schleifpulver schmelzen. Diese Erfahrung haben einerseits tiefe Bohrlöcher mit angeschmolzenen Bohrkernen, anderseits auch geschmolzene Mylonite unter schweren Schubmassen gebracht.

Das Endergebnis des ganzen Reibungsvorganges ist die Herstellung von oft spiegelglatten Schubflächen, welche von dichten, meist übrigens gar nicht besonders mächtigen Mylonitzonen begleitet sind.

Nach meinen Erfahrungen besteht zwischen der Mächtigkeit der Schubmassen und der Dicke der Mylonitzonen an ihren basalen Schubflächen keine eindeutige Beziehung. Dabei fehlt allerdings auch eine über genügend viele und verschiedenartige Schubmassen ausgedehnte genauere und messende Untersuchung.

Jedenfalls kann man behaupten, daß durch das Eingreifen der Reibung eine zunehmende Glättung der Schubflächen mit steigender Weglänge herbeigeführt wird. Diese Tatsache ist in allen, auch den tiefstgreifenden Aufschlüssen im Gebirge, in Bergwerken und Bohrlöchern festgestellt worden. Eine weitere Frage ist nun, bis in welche Tiefen hinab die Ausbildung von glatten, scharfgeschnittenen Schubflächen noch möglich und bestandfähig bleibt.

Mit dem Eintritt in die magmatischen Zonen ist auch mit dem Erlöschen von derartigen Bewegungsflächen zu rechnen. An die Stelle der scharfen Bewegungsflächen können in diesen heißen Räumen wohl nur mehr Strömungen treten. Wir haben uns also vorzustellen, daß erdeinwärts nur noch Strömungen die Bewegungsflächen fortsetzen können. Die regelmäßigste Ausbildung der Schubbahnen haben wir entlang von ebenen Flächen zu erwarten. Auch entlang von zylindrischen Flächen ist eine Regelmäßigkeit der Gestaltung möglich, solange das Maß der Krümmung dasselbe bleibt.

Wechselt jedoch das Krümmungsmaß der Bewegungsbahn, so ändern sich viele Bedingungen des Vorwärtskommens. Nimmt die Neigung der Bahn zu, so macht sich dies als eine Hemmung des Fortschrittes sowie als eine Umformung im Leib der Schubmasse selbst geltend.

In Fig. 3 sind einige charakteristische Fälle der hier möglichen Umformungen schematisch abgebildet.

Ist die Schubmasse gut und entsprechend dünn durchgeschichtet und flach gelagert, so wird sie auf die Versteilung der

Schubbahn mit einer angemessenen Verbiegung antworten. Ist dagegen dieselbe Art von Schichtung steil angeordnet, so wird es im unteren Teil der Schubmasse zur Zerrung, im oberen aber zur Pressung kommen. Die Endform der Überwindung des Gefällswechsels stellt eine Aufblätterung der Schichten dar. Wesentlich anders werden feste, ungeschichtete Schubmassen solche Hindernisse angreifen und zu überwältigen versuchen. Ist die

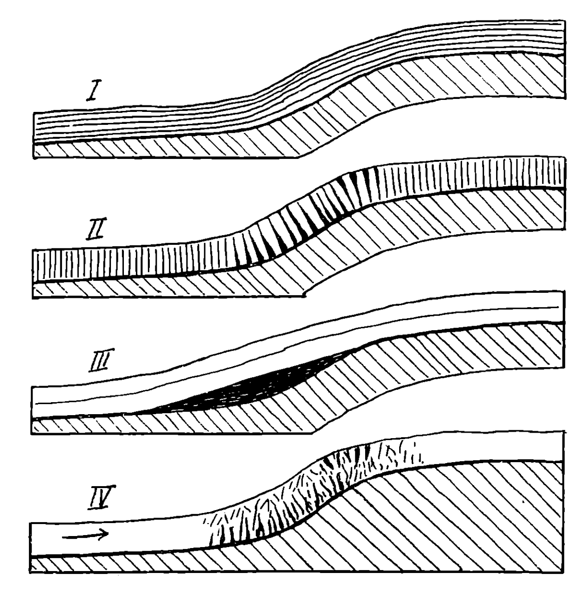


Fig. 3. Überwindung einer Bahnversteilung durch
I = Biegung
II = Aufblätterung
III = Brückenbau
IV = Zertrümmerung
der vorrückenden Schubmasse.

Gefällsknickung nur kurz, so kann die steife Masse gleichsam eine Brücke darüber schlagen und so den Hohlraum überschreiten. Ist jedoch die Knickung ausgedehnt, so dürfte es wohl zu einer Zerbrechung der Schubmasse kommen, deren Trümmer dann in die Knickung hineingepreßt werden. Bei einer solchen Hineinpressung in die Gefällskehle ist es wahrscheinlich, daß allerlei Hohlräume zwischen den Trümmern noch offen bleiben, die vielleicht später einmal ausgefüllt werden.

Möglich erscheint es auch, daß nur ein unterer Teil hineingepreßt wird und stecken bleibt, während der obere Teil der Schubmasse darüber weiter vordringt.

Es ist nicht leicht abzusehen, welches die weiteren Schicksale eines so verlorengegangenen, gewissermaßen toten Teiles einer Schubmasse sein können.

Wir wenden uns nun der Annahme zu, daß sich die Neigung der Schubbahn nicht versteilt, sondern im Gegenteil verflacht. Mit diesem Begebnis tritt eine Erleichterung der Schubbewegung ein, weil sich die Hebearbeit vermindert.

Geht aber die Verflachung in einen Abfall über, so kann sogar eine Beschleunigung der Bewegung im Sinne des Schwerezuges zustande kommen.

Wir stehen hier vor der Überschreitung eines Joches in der Schubbahn und damit vor einer Gestaltung, die im Gebirge vielfach verwirklicht wurde.

Auf der einen Seite wird eine Schubmasse von inneren Treibkräften der Erde auf die Anhöhe eines Joches heraufgeschoben. Geht der Schub noch vorwärts, so hängt die folgende Entwicklung ganz von der Beschaffenheit dieses Joches ab. Ist dasselbe flach und breit, so ist nur eine Erleichterung des Verschubes zu gewärtigen. Fällt die eine Jochseite aber steiler ab, so kann es zu einem Abreißen der vordersten Teile der Schubmasse und zu einer selbständigen Abgleitung derselben kommen.

Das Abreißen des Bandes der Schubmasse greift in dem Momente ein, wo von der einen Seite des Joches weniger Masse zugeschoben wird, als auf der Gegenseite abgleiten kann. Damit ist auch innerhalb der Schubmasse die früher geschlossene Druckleitung zerstört. Unter Umständen kann sie aber wieder hergestellt werden, wenn aus dem Erdinnern soviel Masse nachgeschoben wird, daß die durch Abreißen geschaffenen Lücken wieder geschlossen werden können. Das Verhältnis von Nachschub und Abgleitung am Jochscheitel ist mancher Änderung fähig.

Zunächst kommt es einmal darauf an, wie große Schollen jeweils hier zur Abgleitung kommen. Brechen bereits kleinere Schollen vom Stirnende der Schubmasse ab, so kann es zu einer Kette von Bergstürzen kommen, die erst am unteren Ende des Steilgefälles abgebremst werden. Hier laden sich dann diese wirren Schichthaufen auf- und aneinander, endlich einen Strom von Felstrümmern bildend. Die Ähnlichkeit mit dem Abbrechen von Gletschereis über Steilstufen liegt sehr nahe. Dennoch fehlt ein wichtiges Element.

Während die Eistrümmer wieder zusammenwachsen und einen neuen Eisleib bilden, bleiben die wirren Felstrümmer zerrissen und auch weiter wild vermischt. Selbst wenn sie wieder in die Druckleitung der nachrückenden großen Schubmasse geraten

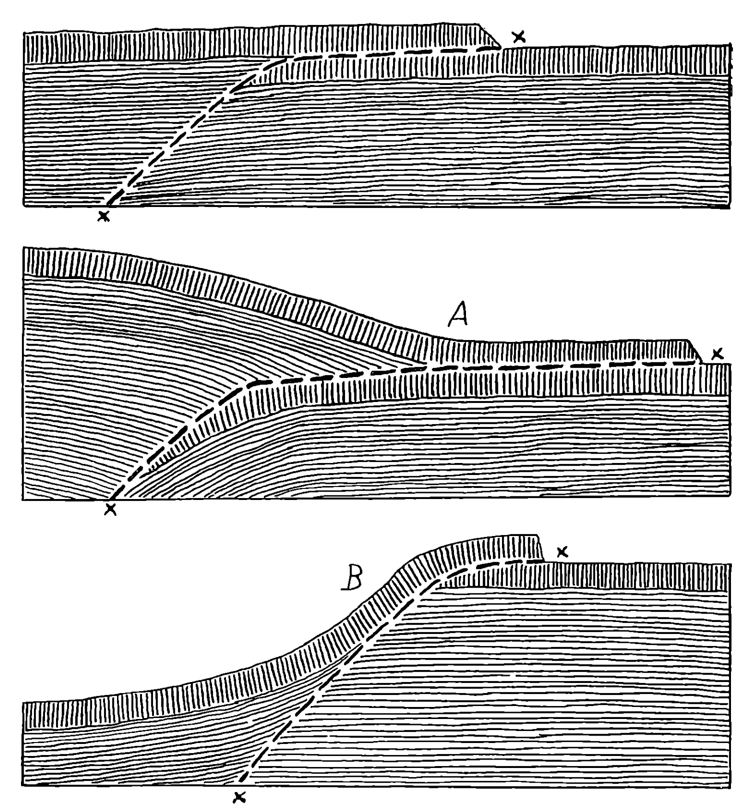


Fig. 4. Die Schubbahn x—x beschreibt einen unteren steilen und einen oberen flachen Weg.

Fig. A = stellt die Wirkung einer weiteren Vorschiebung,
B = jene einer Rückschiebung entlang von x—x vor. Die Vorschiebung ist zwangsläufig mit starker Hebung, die Rückschiebung mit starker Senkung verbunden.

und enge zusammengepreßt werden, kann nichts die Wirrheit ihrer Struktur wieder auslöschen oder zurechtrücken.

Wenn man die Bahnen von Schubmassen betrachtet, so zeigen sie häufig einen flachgelagerten und nicht besonders mächtigen Vorderteil.

Mit dem Eintauchen der Schubbahnen ins Erdinnere muß sich dann aber das Gefälle derselben versteilen. Wir befinden uns daher an solchen Stellen gleichsam auf Jochhöhen der Schubbahnen.

Fig. 4 soll in knappen Umrissen diese Verhältnisse vorlegen. Es ist nun eine Bindung einer solchen Konstruktion, daß sich entlang der geknickten Schubbahn weder eine weitere Vor- noch Rückbewegung ausführen läßt, ohne dadurch das Niveau der Erdoberfläche mitzuverschieben.

Betrachtet man Fig. 5 näher, so geht aus derselben hervor, daß die flach auf der Erdoberfläche lagernde Schubmasse nicht entlang der hier eingetragenen geknickten Schubbahn in diese Lage gekommen sein kann.

Schiebt man in Gedanken die Schubmasse entlang dem horizontalen Teil ihrer Bahn zurück, so würde dies nur möglich sein, wenn unterhalb der zurückgeführten Schubmasse ein großer Hohlraum entstünde oder die Schubmasse in die Tiefe stürzen würde.

Beide Lösungen führen zu geologisch höchst unwahrscheinlichen Gestaltungen und wir sind gezwungen, aus dieser Zwangslage einen brauchbaren Ausweg zu suchen.

Für die Lösung I mit dem Ersatzhohlraum erscheint es immerhin geologisch möglich, mit Hilfe von gefüllten und später entleerten Hohlräumen vorwärts zu dringen. Für die Lösung II ist mir keine geologische Erfahrung bekannt.

Wenden wir uns also dem Lösungsversuche I zu. Er kann z. B. zu der Vorstellung ausgebildet werden, daß der Raum, welcher heute beim Rückläufigmachen der Schubmasse frei würde, früher einmal mit Flüssigkeiten oder Gasen gefüllt war, durch deren Entweichen dann die ganze Schubmechanik in Fluß gebracht wurde.

Man hätte also die Annahme zu bilden, daß durch das Aufsteigen einer Wärmewelle zwischen starren Schollen ein Raum mit hochgespanntem Magma oder mit Gasen gefüllt wird und dadurch eine außerordentliche Beweglichkeit erhält.

Durch eine teilweise oder ganze Entleerung erhalten die benachbarten festen Gesteinsschollen die Gelegenheit zum Eindringen oder Ausfüllen dieses Raumes. Dringt die Entleerung auf vertikalen Wegen aufwärts, so haben wir den Herd eines Vulkangebietes mit seinen Ausstoßungen vor uns. Findet die Entleerung aber einen schiefen, seitlichen Ausweg, so ist es denkbar, daß in den geleerten Raum von den Seiten feste Gesteinsmassen hereingepreßt werden. Würde dabei nur soviel herein-

gedrückt, als zur Füllung des entleerten Raumes nötig ist, so hätte lediglich ein Massenaustausch stattgefunden. An die Stelle von Flüssigem, Breiigem, Gasigem wären die festen Gesteine ihrer Umgebung eingetreten.

Aus diesem Platzwechsel würde aber noch kein motorischer Anlaß zum Vortrieb von Schubmassen entspringen. Ein solcher Antrieb könnte hier vor allem auf zweifache Weise zur Ausbildung gelangen. Einmal könnte durch den Druck der hochgespannten Füllung selbst ein Massenschub eingeleitet werden. Dieser Vorgang hat aber wenig Wahrscheinlichkeit für sich, weil kaum annehmbar erscheint, daß entlang von oft sehr langen Linien solche Ausbrüche mächtige Verschiebungen schwerer Massen vollziehen können. Hier wäre immer wieder die Lösung in Vulkanformen weit näherliegend.

Die andere Erklärung würde sich nicht an ein Ausstoßen von Magmen und Gasen nach oben anschließen, sondern im Gegenteil an ein Abfließen gegen unten.

Auch dabei wäre wohl anzunehmen, daß die Decke von festen Schichten von unten her durch eine Wärmewelle dünn geschmolzen würde. Unter dieser so stark verdünnten Decke von festen Gesteinen würde sich unmittelbar ein Kuchen von hochgespannten heißen Magmen und Gasen befinden. Bei einem Sinken der Wärme und Spannung könnte nun ein Hereindrängen der hangenden und seitlichen Massen ausgelöst werden.

Nun ist klar, daß für den Ablauf der also eingeleiteten Bewegungen der benachbarten starren Massen über und neben dem hochbeweglichen Anteil vor allem die Form und Größe des letzteren von führendem Einfluß bleibt. Über die erforderliche Größe des zur Bewegung einer Schubmasse nötigen unterirdischen Magmaspeichers stehen uns die Angaben über die Mächtigkeit und Ausdehnung der oberirdischen Schubmassen zur Verfügung. Es handelt sich dabei zumeist um langgestreckte Figuren, die im Streichen mehrere hundert Kilometer erreichen können. Aber auch die nachweisbare Breite erlangt Beträge von 40 bis 50 *km*. Dagegen dürfte die Dicke der Schubmassen wohl kaum 3 bis 4 *km* überschreiten.

Wir haben es also mit verhältnismäßig großen, aber relativ ziemlich dünnen Schichtplatten zu tun, welche sich über einem entleerten Hohlraum niemals freitragend erhalten könnten. Bei einem Nachlassen der Druckspannung würde eine solche Gesteinsdecke gleich mit einem Einsinken antworten.

Es ist nun leicht möglich, daß die Einleitung der großen Schubbewegungen tatsächlich aus Senkungen besteht. Damit

kann dieser Vorgang aber nicht sein Ende finden. Vielmehr müßte eine mittlere Senkung gleich ein seitliches Hereindrängen der höheren Nachbarmassen zur Folge haben.

Wenn wir die hier zuständige Fig. 6 betrachten, so würde bei einer mittleren Senkung der dünngeschmolzenen Decke ein zweiseitiges Hereindrängen der Nachbarschollen wohl am wahrscheinlichsten sein. Wir hätten es also bei einem vollständigen Auswachsen hier mit zwei Schubmassen zu tun, von denen die höhere als richtige Überschiebung, die tiefere dagegen als Unterschiebung zu bezeichnen wäre.

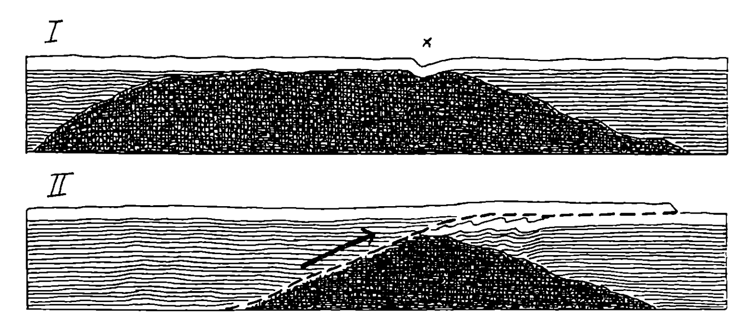


Fig. 6. I = Eine Schmelzmasse greift in breiter Front hoch empor. In der dünnen Schichtlage darüber bildet sich randlich eine einseitige Mulde × aus.

II = Die hochbewegliche Masse senkt sich. Die seitlichen festen Massen drängen nach und erzeugen so Über- und Unterschiebung.

Wie diese Rollen im einzelnen Falle verteilt werden, hängt wohl von der Ausbildung der einleitenden Einsenkung ab. Wäre diese Einmuldung genau in der Mitte und dazu auch beidseitig gleichmäßig, so würden voraussichtlich beide Schubmassen auf demselben Niveau gegeneinandergeschoben. Das Ergebnis würde Aufstauung und Faltung sein.

Eine so regelmäßige Entwicklung ist indessen höchst unwahrscheinlich gegenüber einer mehr einseitigeren. In diesem Falle dürfte die steilere Seite der Einmuldung zur Überschiebung, die flachere dagegen zur Unterschiebung ausgebaut werden.

Was wir bisher genauer betrachtet haben, reicht indessen in seinen Dimensionen nur zur Einleitung von Überschiebungen, aber bei weitem nicht zu deren weitern Vordringen aus. Dafür muß eine verhältnismäßig große Masse des Untergrundes aus dem Wege geräumt werden.

Es ist nun zu überlegen, welche Form eines unterirdischen Hohlraumes am geeignetsten wäre, durch seine Entleerung die nötige Schubgewalt für den Vortrieb einer großen Überschiebung zu liefern.

Wahrscheinlich steht die Förderweite einer Schubmasse in erster Linie mit der oberen Breite des unterirdischen Hohlraumes in Verbindung. So erscheint es möglich, daß der flachliegende vordere Teil einer Schubmasse eine Abbildung der Hohlraumbreite liefert und eigentlich nur jene dünn geschmolzene Decke

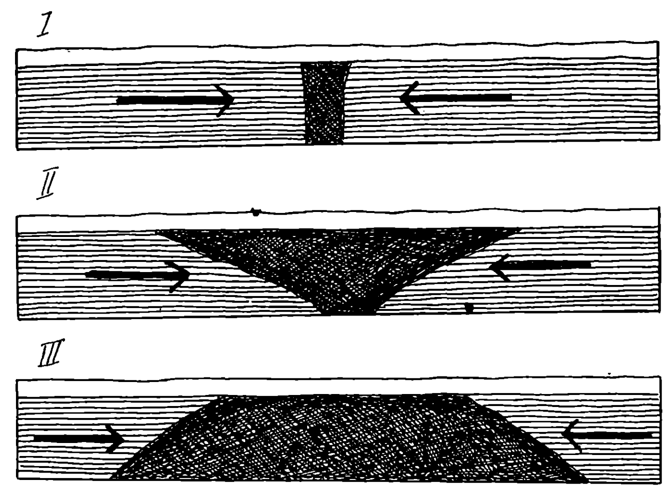


Fig. 7. I = unergiebige Form des Zusammenrückens.
II = ergiebige Form des Zusammenrückens.
III = sehr ergiebige Form des Zusammenrückens.

Das Zusammenrücken wird durch ein Schwinden der leichtbeweglichen Treibmasse (schwarz) eingeleitet.

desselben vorstellt. Sicher ist, daß aber durch die Entleerung einer flachen, dünnen Magmapfanne der eigentliche Vortrieb nicht bewirkt werden kann. Dazu ist es wohl nötig, daß wesentlich tiefer reichende Hohlräume zur Mitwirkung herangezogen werden. Auf diese Weise wäre es möglich, nicht nur oben die dünne Schubmasse zu verschieben, sondern auch ein Zusammenrücken mächtiger tieferer Schollen damit zu verbinden.

Ein solches Zusammenrücken tieferer Schollen vermag auch die Treibkräfte für den Vorschub der Schubschollen beizusteuern. Die Formen eines solchen unterirdischen Zusammenrückens können

mannigfaltig sein. In Fig. 7 sind einige der einfachsten Lösungen im Schema abgebildet.

Voraussichtlich ist der Vorgang des Zusammenrückens und damit auch der des Vortriebes der Schubmassen kein plötzlicher, sondern ein länger andauernder. Auch spricht die größere Wahrscheinlichkeit dafür, daß sowohl die einleitende Senkung als auch die Hereinschiebung der Ersatzmassen nicht stetig, sondern eher ruckweise vor sich gehen dürfte. Ein ruckartiges Zusammendrängen der tieferen Massen überträgt auch eine ruckartige Bewegung auf die daran gekuppelten Schubmassen. Damit ist ohne weiteres eine Reihe von Ursachen zur Zergliederung und Aufteilung der großen Schubmassen gegeben. Allein schon durch ein längeres Stillestehen kann sich der innere Zustand der Schubmassen verändern.

Lockerungen des Gefüges, welche durch den früheren Schub entstanden, gewinnen nun Zeit, sich zu schließen. Im allgemeinen wird eine Setzung der Massen und eine sorgfältige Anpassung an ihre neue Lage stattfinden.

Dauert aber eine solche Raststellung der Schubmassen entsprechend lange, so wird auch die Erosion zur Wirkung gelangen. Ihre Einschnitte zerstören die Geschlossenheit der Schichtverbände und vermindern auch die Mächtigkeiten der Schubmassen ganz unregelmäßig. Wenn die Schubmassen nicht auf einer ebenen, sondern auf einer gewellten Unterlage (Relief) zu ihrer einstweiligen Ruhelage gekommen sind, so wird dadurch auch Angriff und Leistung der Erosion stark beeinflußt. Auf den Sattelungen ist die Schubmasse durch Zerrungsklüfte ohnedies aufgelockert und so den Angriffen der Erosion besonders leicht zugänglich. Hier kann es unschwer zum Einsägen von tieferen Furchen kommen, deren Schuttwerk in die benachbarten Muldenzonen eingelagert wird.

In der Endwirkung können so die Sattelzonen der Schubmasse abgetragen und geschwächt, die Muldenzonen aber verschüttet und dadurch verstärkt werden.

Nimmt der Vorschub dann aufs neue seine Tätigkeit auf, so ist es möglich, wie Fig. 8 andeutet, daß an den zerschnittenen Sattelzonen Zerreißungen, ja sogar vielleicht sekundäre Überschiebungen auftreten. Auf diese Weise kann unter günstigen Umständen eine große Schubmasse in mehrere kleinere zerlegt werden. Diese Zerlegung spiegelt in ihren Umrissen das Relief des überfahrenen Untergrundes wieder.

Durch die Zerlegungen werden einerseits Verdickungen, anderseits aber auch Verkürzungen der Länge der Schubmassen

herbeigeführt. Dies bedeutet zugleich eine Versteifung der ganzen Schubmasse, wodurch zugleich auch ihre Transportfähigkeit steigt.

Auch der Fall einer Zerschneidung einer auf ebener Grundlage lagernden Schubmasse verdient unsere Aufmerksamkeit. Ist die Zersägung der ebenen Platte der Schubmasse beim Eingreifen einer neuen Vorstoßwelle genügend weit vorgeschritten, so muß dieselbe zuerst die vorhandenen Tallücken schließen, bevor eine Gesamtverschiebung gelingen kann. Es erscheint wahrscheinlich, daß hier an allen offenen Einschnitten eine gewaltige Zusammenpressung eintritt, welche alle Schluchtseiten zusammen-

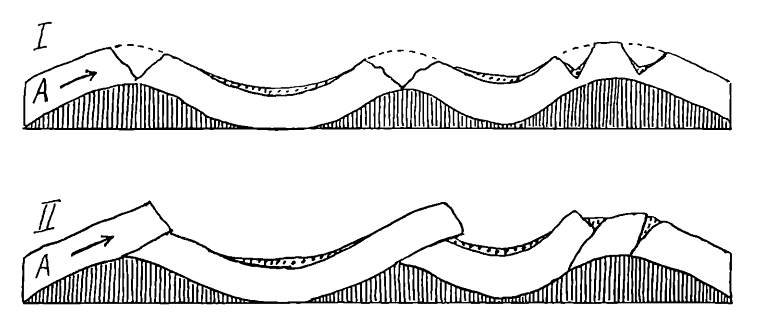


Fig. 8. I = Die Schubmasse *A* wurde an den Sattelhöhen zerklüftet und erodiert, in den Mulden verschüttet.

II = Beim Weiterschub bilden sich an den Kerben neue kleinere Überschiebungen heraus.

schiebt, die quer zur Schubrichtung verlaufen. An den Einschnitten, die in der Schubrichtung ziehen, ist mit der Möglichkeit von Parallelverschiebungen der Talseiten zu rechnen.

Kurz und gut, die Schließung von Tallücken, die Vorschiebung von Talwänden, die Zusammenschweißung verschiedenartiger Schichten, die Verpackung von Felstrümmerung muß auch später noch innerhalb der Schubmassen in der Struktur von deutlichen Wundvernarbungen erkennbar bleiben.

Es ist nun von Interesse, auf diese theoretischen Überlegungen hin einige Fälle von Schubmassen zu beschreiben, deren Gestalt heute hinreichend genau bekannt ist. Dabei kann es sich freilich nur um Schubmassen handeln, welche heute durch die Einschnitte der Täler und jüngere Hebungen in den Bereich unserer Zugänglichkeit gebracht wurden.

Leider enthalten auch die besten Fälle noch immer unklare oder mehrdeutige Stellen.

Ich führe hier Beispiele aus dem tektonischen Hausschatz der nördlichen Kalkalpen vor, welche mir im Laufe langer Jahre durch eigene Begehungen vertraut geworden sind. In dem langen Zug der nördlichen Kalkalpen sind die Schubmassen hin und hin muldenförmig angeordnet. Diese so beschaffene tektonische Mulde besteht aber nicht aus jeweils einer, sondern aus mehreren Schubmassen, welche sich gegenseitig übergreifen.

Fig. 9 gibt im Schema ein Baubild dieser aus Schubkörpern zusammengefügten Muldenform, welche aber im einzelnen allerlei Abweichungen aufweist.

Angesichts dieser Grundform kann man im Zweifel sein, ob diese Schar von Schubmassen bereits als Schuppengebilde in eine schon bestehende Mulde hereingeschoben wurde oder ob eine Schubdecke ankam, die sich erst in der Mulde schuppig über-

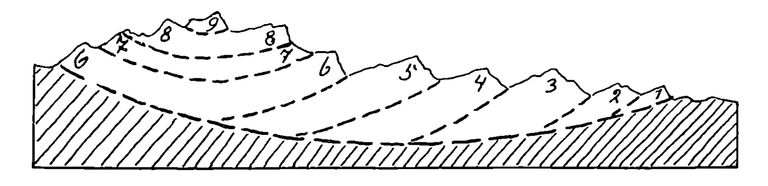


Fig. 9. Die Anordnung der Teilschubmassen 1—9 nimmt auf die Beschaffenheit und das Mitspiel des Untergrundes keine Rücksicht. Es handelt sich in diesem Schema nur um die Form der Aufladung und Zerteilung.

schob, ob alle Schubmassen einzeln und getrennt einfuhren oder endlich, ob dieser Haufen von Schubdecken den Untergrund selbst erst zur Mulde eingedrückt hat.

Die erste Annahme und wohl auch die dritte erscheinen als wenig wahrscheinlich, weil dabei jeder innere Zusammenhang zwischen Muldenform und Schubmassenfüllung verlorengeht.

Die zweite und vierte Annahme können sich aber gegenseitig ergänzen und in diesem Sinne als zusammengehörige Teile eines Großvorganges erweisen.

Jedenfalls erweisen sie sich als zusammenfügbar.

Wir machen uns also die Annahme für den Weiterweg zu eigen, daß eine große Schubmasse eine Muldenform vorfand, sich in derselben aufschuppte und die Mulde noch weiter niederdrückte. Bei der großen Breite der Kalkalpen, z. B. im Querschnitt der Allgäuer und Lechtaler Alpen = zirka 46 *km*, ist die Annahme einer einheitlichen Muldenform des Untergrundes wenig wahrscheinlich. Täler von dieser Breite kommen im Umkreis der

Alpen nicht vor. Besser würde die Form eines langgestreckten Sees oder eines Meeresarmes entsprechen.

Beachten wir aber Fig. 10, die einen Querschnitt der Allgäuer und Lechtaler Alpen liefert, so finden wir, daß in diesem breiten Raum nach den Lagerformen der Schubdecken mindestens 4 Sättel und 4 Mulden eingebaut liegen.

Mißt man in dem Profil von Fig. 10 nun die Länge der Schubmassen an dem Bande des Hauptdolomits aus, so kommt man zum Ergebnis, daß die Gesamtlänge der zusammengeflickten Schubmassen mindestens etwas mehr als die doppelte Breite der N. Kalkalpen ausmacht.

Wir hätten es also, zusammengenäht, mit einer Schubdecke von etwa 90—100 *km* Breite zu tun.

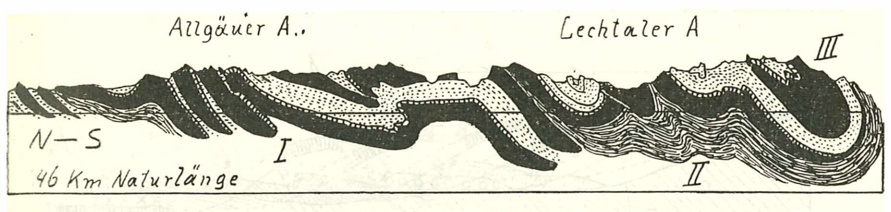


Fig. 10. I = Allgäudecke.
II = Lechtaldecke
III = Inntaldecke mit Krabachjochdecke
Gestrichelt = mittlere untere Trias
Schwarz = Hauptdolomit
Punktsaum — Kössener Sch.
Punktiert = Jura + Kreide + Tertiär

Das ist eine sehr große Breite, wenn man bedenkt, daß die Dicken der Teilschubdecken wohl nirgends über 2 *km* betragen. Angesichts dieser so breiten und so dünnen Schichtplatte, die zudem noch gut zur Hälfte ihrer Mächtigkeit aus relativ weichen, leicht faltbaren Schichten (Partnach-Sch. — Reibler Sch. — Kössener Sch. — Jura-Sch. — Kreideschiefer) besteht, steigen wohl ernste Zweifel an der Möglichkeit der Überschiebbarkeit dieser Platte auf.

Jedenfalls ist man berechtigt, hier jeden Gedanken zu prüfen, der geeignet erscheint, diese allzu unwahrscheinliche Ausdehnung der Schubmasse zu verkleinern.

Dabei ist nicht zu vergessen, daß in der Zeichnung von Fig. 10 nur ein Mindestmaß von Tiefenfortsetzungen der einzelnen Teilschubmassen eingetragen wurde. Es ist möglich, daß die Gesamtlänge der Schubdecken vielleicht sogar die dreifache Breite der N. Kalkalpen erreicht.

Das beste Mittel, von der Länge und Dünnheit der Schubmassen in der Erklärung unabhängig zu werden, besteht in ihrer

Umdeutung zu Gleitmassen. Für Gleitmassen ist, solange das nötige Gefälle zur Verfügung steht, weder in bezug auf Länge noch auf Dicke der Gleitkörper eine Beschränkung vorhanden.

Hier kommt auch noch die Vorstellung zu Hilfe, daß die Gleitung ja nicht auf einmal, sondern nach und nach vor sich gehen kann. Wenn z. B. von einer Hebungswelle eine erste Abgleitung stattgefunden hat und nun die Hebungswelle nach rückwärts wandert, so kann, wie Fig. 11 darstellen will, eine längere Kette von Gleitungen sich ausbilden, wobei die Vorderteile der jüngeren Gleitung auf die Hinterteile der nächstälteren auffahren können.

Durch ein derartiges Wandern und zeitweises Stillestehen einer Hebungswelle wäre auch eine breite Anhäufung von einzelnen Schubmassen verständlich.

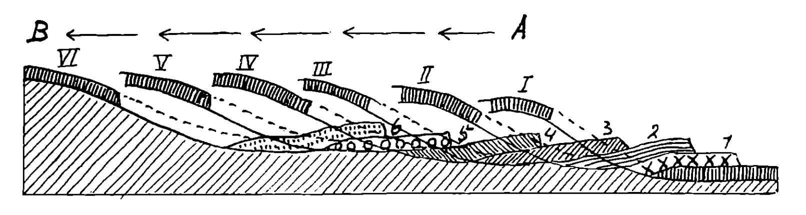


Fig. 11. I—VI = Haltestellen einer von *A* gegen *B* wandernden Hebungswelle.
Von jeder dieser Haltestellen soll eine Gleitmasse zur Ablösung kommen.

Freilich erfordert der Vorgang eines solchen Weiterwanderns einer Hebungswelle auch wieder eine eigene Erklärung für sein Zustandekommen.

Ein anderes Mittel, die auffallende Breite der Schubmassen der N. Kalkalpen zu verringern, besteht darin, einen großen Teil derselben als relativ anstehend und nur einen Restteil als weithergewandert zu betrachten.

Kehren wir wieder zu Fig. 10 zurück, so sehen wir, daß sich die hier vorliegenden Schubmassen unschwer auf Allgäuer Decke — Lechtaler Decke — Inntaldecke (Krabachjochdecke) verteilen lassen.

Macht man nun die Annahme, daß hier Allgäudecke + Lechtaldecke noch Anteile des Grundgebirges sind und nur die Inntaldecke samt der Krabachjochdecke eigentliche Wanderdecken vorstellen, so wird dadurch die Breite der Schubmasse ganz wesentlich verkleinert.

Allgäu- + Lechtaldecke wären also keine richtigen Wanderdecken, sondern nur gefaltete und auch randlich überschobene Teile des Grundgebirges. Unter ihnen wären daher nicht etwa jüngere, sondern ältere Schichtglieder zu erwarten. Das würde allerdings der landläufigen Vorstellung einer Unterlagerung der N. Kalkalpen durch Flysch ... völlig widersprechen.

Randlich ist eine solche Unterlagerung wohl festgestellt. Im größten Ausmaß allerdings am Westrande der N. Kalkalpen, wo dieselbe aber auch eine Wirkung der wesentlich jüngeren Alpenschiebung in der Richtung von O gegen W bedeuten kann.

Es verlohnt sich, noch einen Blick auf die Formung der Teilschubmassen zu werfen.

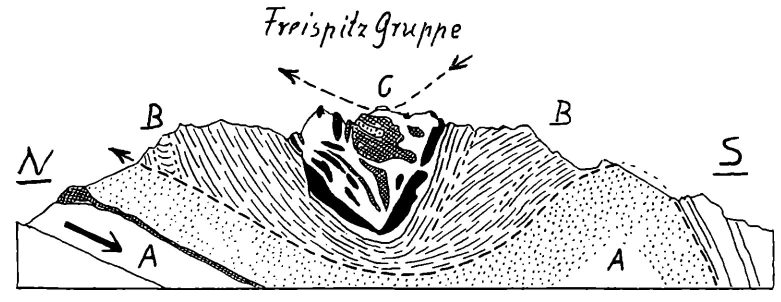


Fig. 12. A = Lechtaldecke = Unterschiebung
B = Inntaldecke
C = Krabachjochdecke } = Überschiebung

Die Inntaldecke besteht aus Hauptdolomit — Kössener Sch. — Oberrätkalk — Liaskalk — Lias-Fleckenmergel — Oberjura-Hornsteinen — Aptychenkalken — Kreideschiefern.

Schon 1911 konnte gezeigt werden, daß die Verknüpfung von je zwei benachbarten Schubmassen in den Allgäuer-Lechtaler Alpen nicht zu Falten führt. Vielmehr handelt es sich durchwegs um aufrechte Schichtfolgen, welche an ihren Enden von scharfen Schubflächen abgeschert erscheinen. An dem Beispiel von Fig. 10 konnten an 5 Enden von Schubbahnen mitgeschleppte Schollen erkannt werden.

Die von R. Staub 1922—1925 entworfenen Alpenquerschnitte i. M. 1 : 500000 schneiden die Allgäuer-Lechtaler Alpen dreimal (Profil 10, 11, 12) und erklären ihren Bau ohne Beachtung dieser Tatsachen nur mit Hilfe von großen liegenden Falten.

Es sind aber nicht nur keine Faltenverknüpfungen der einzelnen Teilschubmassen da, sondern mehrfach sogar Spuren von Erosionseingriffen.

Wie Fig. 12 an dem Beispiele der Freispitzgruppe zeigen soll, liegt hier gerade auf dem wildverfalteten Muldenkern der Rest einer horizontalen Schubscholle aus Hauptdolomit mit einer dünngewalzten Sohle von Aptychenkalken.

Zwei Erklärungen bieten sich für dieses seltsame Bauverhältnis an. Entweder haben wir den Rest einer höheren Schubmasse vor uns, die als Reliefüberschiebung auf der bereits erodierten Inntaldecke lagert, oder es handelt sich um den Gegenflügel der Überschiebung auf der Unterschiebung.

Nach der tektonischen Rangstellung gehört diese Deckscholle zur Krabachdecke, welche bereits in kleine Reste zerfressen wurde. Es kann aber auch beides in einer Form vorliegen und eine Reliefüberschiebung zugleich den Gegenflügel der Überschiebung darstellen. Dann würden die darunter befindlichen Schubmassen die Rolle der Unterschiebung spielen. Wir sind in dieser Untersuchung zur Prüfung des Tiefbaues von Schubmassen von der Erkenntnis ausgegangen, daß sich eine ausgedehnte flachgelagerte Schubmasse nicht mit derselben Neigung ins Erdinnere hinab fortsetzen kann. Vielmehr muß sich die Neigung ihrer Schubbahn versteilen.

In dieser Lage ist aber die Konstruktion nur bewegungsfähig, wenn dabei beim Vorrücken starke Hebungen, beim Rückweichen ebensolche Senkungen der darüber befindlichen Erdoberfläche gleichzeitig ins Spiel treten.

Soll aber die Erdoberfläche ihr Niveau einhalten, so ist eine unterirdische Schubbewegung als Antrieb der oberirdischen nur denkbar, wenn an Stelle der herausgedrängten Schubmasse ein ungefähr gleich großer unterirdischer Raum entleert wird.

Eine solche Entleerung könnte am einfachsten gelingen, wenn sich aus einem mit hochgespannten Magmen oder Gasen erfüllten Hohlraum irgendwelche Auswege eröffnen. Die Möglichkeiten zu einem solchen Vorgang könnten am ehesten die tiefwühlenden Flutungen einer Gebirgsbildung bereitstellen.

Wir kommen also zu der Anschauung, daß hinter einer großen Schubmasse mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Gebirgsbildungszone zu erwarten ist. In diesem Falle würde dann wohl eine Verschluckungszone den Raumersatz für den Vorstoß der großen oberirdischen Schubmasse vorstellen.